

## リトミックの場の計測と解析 -模倣関係に見る社会性の発達-

### Measurement and Analysis of Eurythmics: Does mimicry reveal social development?

大塚朔甫<sup>1\*</sup> 阿部香澄<sup>1</sup> アッタミムムハンマド<sup>1</sup> 中村友昭<sup>1</sup> 長井隆行<sup>1</sup>  
早川博章<sup>2</sup> 深田智<sup>2</sup> 岡夏樹<sup>2</sup> 潮木玲奈<sup>3</sup> 岩田恵子<sup>3</sup> 大森隆司<sup>3</sup>

Sakuho Otsuka<sup>1</sup>, Kasumi Abe<sup>1</sup>, Muhammad Attamimi<sup>1</sup>, Tomoaki Nakamura<sup>1</sup>, Takayuki Nagai<sup>1</sup>,  
Hirohumi Hayakawa<sup>2</sup>, Chie Fukada<sup>2</sup>, Natsuki Oka<sup>2</sup>, Rena Ushioji<sup>3</sup>, Keiko Iwata<sup>3</sup>, Takashi Omori<sup>3</sup>

<sup>1</sup>電気通信大学 <sup>2</sup>京都工芸繊維大学 <sup>3</sup>玉川大学

<sup>1</sup>The University of Electro-Communications, <sup>2</sup>Kyoto Institute of Technology, <sup>3</sup>Tamagawa University

**Abstract:** The goal of this research is to figure out child social development by measured data instead of qualitative observation. We apply eurythmics to recording scene and analyze sound, video and location, acceleration of children, instructor, childminder. In this paper we discuss how we can exemplify social developmental tendency, objectively.

## 1 はじめに

身体を使った関わりあいは、言葉が未発達な幼児期の子どもにとって、主軸となる表現方法である。本研究では、社会性といった他者との関わりあいの発達を、幼児の身体表現を計測するという定量的手法によって分析することを試みる。

従来、保育場面では観察者の定性的な評価に基づいた子どもの発達の知見が得られてきた [1][2]。例えば鈴木は、子ども間の身体による相互行為が成立する要因を探るために、発達的特徴をエピソードベースで分析している [1]。子どもの様子を観察し、エピソードを記述して分析するという従来の行動観察の手法は、対象の詳細な行動まで分析ができるという利点をもつ一方、記述の質が観察者の技量に依存する、大量の事例分析は困難といった欠点がある。保育場を計測して定量的に捉えようという試みはこれまでほとんどなく、河田らは室内における幼児の行動データを計測し、予測する試みを行っているが、危険回避が目的であって、保育の質や発達の解析は行っていない [3]。保育場面での有効なデータ計測が実現すれば、

- ・観察者の技量に依らずに結果を表現できる（見取り経験の浅い保育者等にも子どもの行動解釈が可能）
- ・大量のデータを分析できる（数十人の子ども全員 of データを何か月にも渡って追う）

といったことが可能になる。本研究の意義は、幼児の発達段階の分析に計測による工学的な分析手法を取り入れ、従来の行動観察では捉えきれなかった大人数の子どものデータを継続して収集・解析し、発達の変化を定量的にとらえることにある。

本研究では、身体を通した他者との関わりとして動きの模倣に焦点を当て、子どもの社会性の発達を分析する。幼児期の模倣に関して鈴木は、模倣という行為によって子どもが自らの身体を通して他者の存在を受け入れ、自己を確認し高め、共に生きるという感覚を体得すると述べている [4]。身体を使った模倣は自由保育場面においても観察されるが、本研究では、一定期間連続で安定的にデータを取得可能なよう、空間・時間にある程度制約をもたせられる設定保育場面のひとつであるリトミックを題材にする。リトミックとは、一方では多くのオートマチックな動きを高め、筋肉機能の全体を保証し、他方では肉体と精神の素早い確かなコミュニケーションを築き、自然なリズム感覚を発達させることを目的とした音楽教育であり [5]、音楽や物との関わりを通して、子どもが指導者の動きを真似たり、子ども同士で模倣する様子が観察できる。本稿では、保育の身体表現場面の定量的評価を目指す第一歩として、実際の保育園のリトミック場面においてデータの計測環境を構築し、模倣を表現するデータの表現方法を探る。

\*連絡先: 電気通信大学 情報理工学専攻 知能機械工学専攻  
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1  
E-mail: saku@apple.ee.uec.ac.jp



図 1: 調査時の様子と各種センサの配置

## 2 計測項目の選定

リトミック場面でのデータ計測環境を構築するにあたり、まず我々はリトミック指導者が得たい項目やデータ計測に期待することの聞き取りを行った。その結果、以下のようなニーズが浮かび上がった。

大量の子どもデータの分析：行動分析では子どもの事例を個々に観察する必要があるため、数人のデータを分析するだけでもかなりの労力を要する。データを自動で計測できれば、数十人の子どもを継続的に測るといように、効率よく多くの子どもの分析をすることが可能となる。

場にいる子ども全員の観察：指導者や保育者はなるべく子ども全員の様子に気を配ろうとするが、常に全員を見ることはできない。その場にいる子ども全員の様子を記録、分析し、指導者や保育者が拾えなかった子どもの特徴を提示することは有用である。

質の良い見取りの伝承・保育者の養成：保育者は子どもの表現や育ちの様子を的確に“見取り”ことが重要である。しかし、的確な見取りは経験を重ねなければ難しく、経験の浅い保育者は不適切な見取りを行ってしまう場合がある。例えば、ある子どもがリトミックに一人参加せず座っていたとき、ある経験の浅い保育者はその子どもが協調性がないと見て、リトミックに参加させようとした。一方、別の熟練の保育者は、座っている間にもその子どもが小さくリズムを刻んでいるのを見つけて、その子なりに楽しんで見守った。この“リズムを刻む”というような小さいが重要な変化などをデータで捉え、見取り経験の浅い保育者にも提示できれば、質の良い見取りの伝承や、質の良い保育の提供につながる。

また、リトミックの際の子どもの発達変化を捉える上では、先生の動きの模倣、子ども同士の模倣、リズム感、などを計測すべきだと考えた。

上記の要求を考慮しつつ、実際の場で計測可能な項

目を選定し、子どもの加速度、音声、位置、表情、リトミック指導者の視点、を計測することとした。これまで平成 26 年 2 月と平成 27 年 6 月と 8 月に、玉川さくら保育園の 2 歳児から 5 歳児クラスの園児と保育士、リトミックのインストラクターの協力を得て調査を行った。図 1 に調査時の様子と各種機器の配置、取得データの例を示す。計測に使用する機器は以下の通りである。

モバイルソシオメータ：園児・保育士・インストラクターそれぞれの胸部にベルトで固定し、3 軸加速度・3 軸角速度・音声を記録する。動きの模倣、気持ちの高まり・共有を速度データで、音楽・言葉との関わりを音声データで計測する。

LRF（レーザーレンジファインダ）：教室内に 4 つ設置し、レーザーの反射光から距離を取得する。パーソナルスペース・空間の使い方を人位置・トラッキングデータで計測する。

Tobii Grass：インストラクターが装着し、視線映像と視点を記録する。子どもの表情・インストラクターの注目領域を計測する。

Kinect：教室内に 2 つ設置し、色・距離画像を記録する。顔認識などによる人位置・トラッキングデータを計測する。

ビデオカメラ：教室内に 3 つ設置し、映像を記録する。調査後に様々な視点から細かく分析する。

## 3 解析方法

リトミックの場で何が起きているのかをデータから定量的に解析を行う。子ども同士、子どもと先生の身体表現による関わりあいとして動きの模倣を抽出し、その模倣関係の情報伝達の流れの変化から子どもの社会性発達の為の手がかりを探る。加えて、リトミックの重要な要素の 1 つである音との関わりあいを、リズムに合わせる体を動きとして捉える。

また、“見取り”のデータの作成の為に熟練の保育者と共にアノテーションを行う。

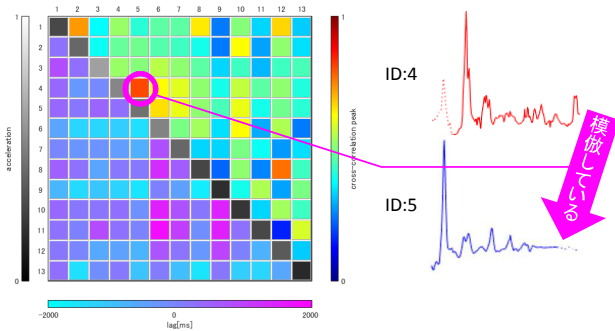


図 2: 動きと音の波形の相互相関

### 3.1 動きと音の相関

動きの模倣とリズムに合わせる体の動きを、時系列データの波形の位相差と相関値によって抽出する。モバイルソシオメータで取得した 3 軸加速度の二乗平方根を動きの大きさとし、音声は加速度データとサンプリング周波数を揃える形で音声エネルギー波形とする。被験者それぞれの動きの大きさと音声エネルギー波形の相互相関を計算する。

$$Cov_{XY}(\tau) = \sum_{t=1}^T \{X(t)Y(t+\tau) - \mu_X(t)\mu_Y(t+\tau)\}$$

$$\hat{\tau} = \arg \max_{\tau} Cov_{XY}(\tau) \quad (1)$$

$$A_{ij} = \begin{cases} Cov_{X_i Y_j}(\hat{\tau}) & (i < j) \\ \hat{\tau} & (i > j) \end{cases} \quad (2)$$

ある 2 秒間の被験者全ての模倣関係を色行列  $A_{ij}$  で表現したものを図 2 に示す。色行列の上三角行列が式 (2) の相互相関関数のピーク値を表し、下三角行列が式 (1) の波形の位相差を表す。例として、被験者 ID:4 が ID:5 の模倣をして少し遅れて動き出し、その動きが似ている様子を  $A_{54}$  と  $A_{45}$  が表現している。園児 1 クラスあたり 1 回 30 分弱のリトミックの活動を 1 つのセッションとして、同様の解析を窓幅 2s、シフト幅 0.1s で行う。

### 3.2 リトミックの場での影響力

リトミックの場で誰が他多数から模倣されているのかという観点から、Google 検索エンジンで用いられるウェブページ重要度の判定方法である PageRank アルゴリズム [6] を用いて、リトミックの場での影響力の度合いを判定する。

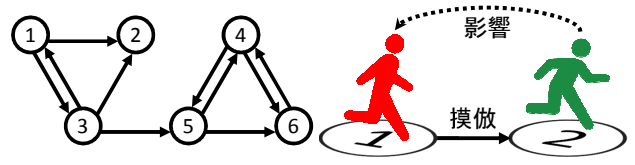


図 3: ウェブ構造の例 図 4: リトミックでのリンク

#### 3.2.1 PageRank

PageRank の主題とは、ウェブページは、他の重要なページから指されていれば重要だということである [7]。アルゴリズムではハイパーリンクを推奨とみなして、推奨が多いページは重要であり、推奨が多いページからの推薦の重みを高く、乱発する推薦の重みを低くするなどして人気得点の投票を行っている。ここで、例として小さなウェブ構造を図 3 に示す。この有向グラフをハイパーリンク行列  $\mathbf{H}$  で式 (3) に表す。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 1/3 & 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

この推移確率行列の定常ベクトルをベキ乗法によって求める。ここで、ベキ乗法の繰り返しプロセスにおいて PageRank を貯め込んでしまうぶら下がりノード (図 3 のページ 2) に対する確率的調整や、ベキ乗法収束のための原始性調整を加えた Google 行列を  $\mathbf{G}$  を式 (4) に示す。

$$\mathbf{G} = \alpha(\mathbf{H} + 1/n\mathbf{ae}^T) + (1 - \alpha)1/n\mathbf{ee}^T \quad (4)$$

$$= 0.85 \begin{bmatrix} 0 & 1/2 & 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/3 & 1/3 & 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} + 0.15 \begin{bmatrix} 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 \end{bmatrix}$$

PageRank ベクトル  $\boldsymbol{\pi}$  は式 (5) で表され、図 3 のリンク構造における PageRank ベクトルを式 (6) に示す。

$$\begin{cases} \boldsymbol{\pi}^T = \boldsymbol{\pi}^T \mathbf{G} \\ \boldsymbol{\pi}^T \mathbf{e} = 1 \end{cases} \quad (5)$$

$$\boldsymbol{\pi}^T = [ 0.0517 \quad 0.0737 \quad 0.0574 \quad 0.3487 \quad 0.1999 \quad 0.2686 ] \quad (6)$$

$\pi_1 = 0.0517$  の解釈は時間の 5.17% を使って、ランダムサーファーがページ 1 を訪問するということである。

### 3.2.2 リトミックの場での PageRank

リトミックの場において人をノード、誰かを模倣する動きをその人へのリンクとし、ウェブページ上のハイパーリンク関係に置き換える(図4)。PageRankアルゴリズムを利用してリトミックの場で、ある人が模倣されている割合(影響力の高さ)を計算する。

入力となる推移確率行列  $\mathbf{H}$  を式(7)に示す。動きの波形が似ている程、模倣している確率が高いとして、行列の各要素は3.1節で述べた波形の相互相関関数によって求める。

$$\mathbf{H}_{ij} = \begin{cases} Cov_{X_i Y_j}(\hat{\tau}) & (\hat{\tau} < T/2) \\ 0 & (\hat{\tau} > T/2) \end{cases} \quad (7)$$

### 3.3 アノテーション

リトミックの場面毎のラベル付けをアノテーションソフト ELAN[8] を使用して行う(図5)。誰が誰を模倣しているか、模倣の種類分け、気持ちの高まりの変化などを映像・音声から熟練の保育者と共に評価する。現段階で区別している模倣の種類として以下が挙げられる。

- ・同調: 無意識的・反射的に同じ動きをする。
- ・模倣: 対象者と同じ動きをしようとして観察して動く。
- ・きっかけをもらう: 独自の身体表現のイメージは持っているが、動き出しのきっかけが無く、誰かにつられたように動き出すが、表現の仕方が異なる動きをする。

今後、模倣の種類と子どもの発達段階との関連、動きのデータから区別ができるかどうかを検討する。

## 4 結果

### 4.1 動きと音の相関

3.1節で述べた動きと音の相関をセッション全体を通して合計し、被験者同士の相関値を距離としてMDS(多次元尺度構成法)によって相関値が高いもの同士が近くに配置されるように2次元にプロットした。セッション毎のMDSの描画結果を図6に示す。

### 4.2 リトミックの場での PageRank

3.2.2節で述べた推移確率行列をセッション全体を通して合計し、被験者毎のリトミックの場でのPageRankを計算した。あるセッションの推移確率行列からリンク構造を描画し、また、その推移確率行列を入力としたPageRankの計算結果を図7に示す。各ノードが被

験者・音声に対応し、ノードからの出リンクが推移確率(模倣関係)を表す。図中では視覚化を明瞭にするため、各ノードからの出リンクを上位3本(相関値)とした。

### 4.3 空間の使い方

LRFのトラッキングデータからリトミック中の教室内での人位置をヒートマップで可視化した。また、年齢毎の子ども間の平均距離を図8に示す。

### 4.4 TS式幼児・児童性格診断検査

リトミックの場での振舞いと性格との相関を探るために、保育士からTS式幼児・児童性格診断検査の回答を得た。ある子どもの性格診断結果の例を図9に示す。

## 5 考察

### 5.1 動きの相関

図6の5.83歳のセッションでは、子どもと先生の相関が高くなり、場が一体化している様子が捉えられる。

今回は、リトミック場面での動きの模倣を動きの大きさの波形の相互相関から捉えようと試みたが、相互相関の時系列関係から定義する模倣関係が、3.3節で述べたラベル付けの模倣関係と一致しない場面が多く見受けられた。原因としては以下が考えられる。

1点目として、子どもと保育士やインストラクターの身体の大きさの違い、身体表現の個人差などを考慮して動きの大きさを正規化して波形を比較したが、小さい動きのフィルタリングを行っていないため、一方のノイズのような小さな波形と他方の捉えたい波形が模倣関係として抽出される。

2点目として波形を比較する窓(窓幅2s, シフト幅0.1s)毎に独立に比較を行って、窓の前後の時系列の繋がりの情報を使用していないため、模倣の関係を抽出しにくい。

また、動きの模倣を相互相関ではなく、グレンジャー因果性など別の方法で抽出する必要性も考えられる。

### 5.2 リトミックの場での PageRank

図7では、セッション全体を通して積極的に活動していた子ども(ID: CA11)が他の子供達の模倣対象となり、影響力も高いと言える。

しかし、PageRankの計算の入力となる模倣関係は5.1節で述べた相互相関によって定義されるため、その



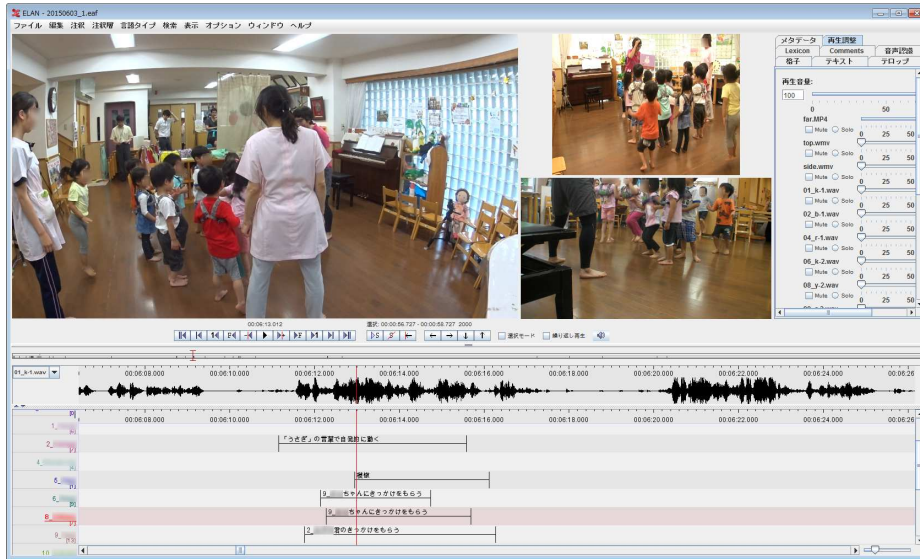


図 5: ELAN によるアノテーション

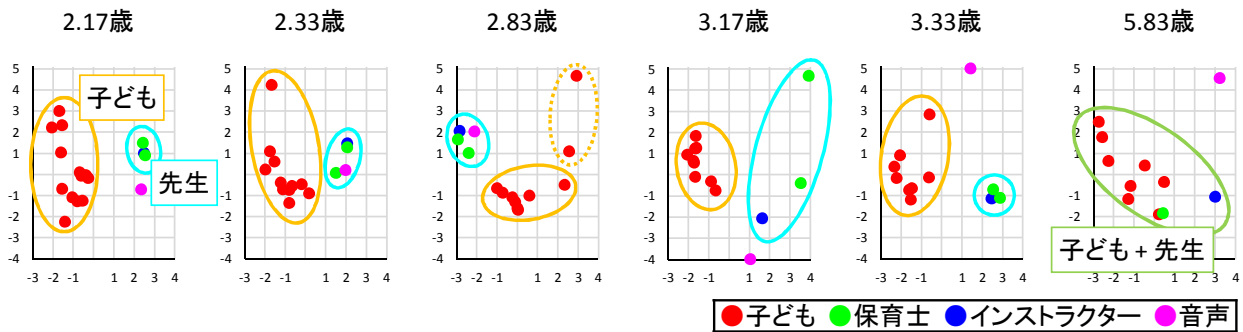


図 6: 動きと音の相関の MDS

関係が抽出しきれずに PageRank の出力が信頼性の低いものとなった。また、ウェブページで使用されている PageRank アルゴリズムをリトミックの場で使用するにあたって、推移確率の大きさを相関値で表現できているかどうかや、ウェブページ上ではページを経由しての間接的なリンクも推薦されたページからの推奨として意味を持つが、全員を 1 対 1 の直接のリンクで表現できるリトミックの場においても、間接的なリンクを重みとして考慮する必要があるのかなど考慮すべき点も多い。図 10 の例では、伝達にかかる時間  $t$  が式 (8) であり、

$$t_{red} < t_{green} + t_{blue} \quad (8)$$

かつノード 1 からの出リンクがノード 2 以外に存在しない場合は、ノード 3 からノード 1 への出リンク (青) は擬似的な模倣を表現し、抽出すべき要素ではない。以上の点などを考慮し、リトミックの場でのリンク構造を考え直す必要がある。

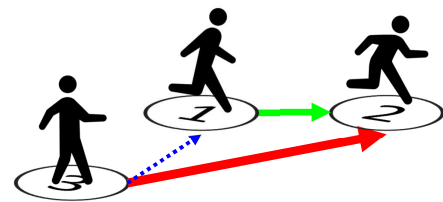


図 10: 間接的なリンクの例

### 5.3 空間の使い方

図 8 のヒートマップでは、使用している空間が 2.17 歳では教室の中心に集中しているのに対して、5.83 歳では教室全体を使用して活動している様子がわかる。また、月齢の増加の共に、子ども同士の距離が増加する傾向だと言える。幼児のパーソナルスペース (対人距離) は月齢が上がるにつれて大きくなるとされており [9], これを支持する結果だと言える。

現状の解析では、LRF の距離データからの人位置推定を行っているため個人の位置の特定ができず、また、

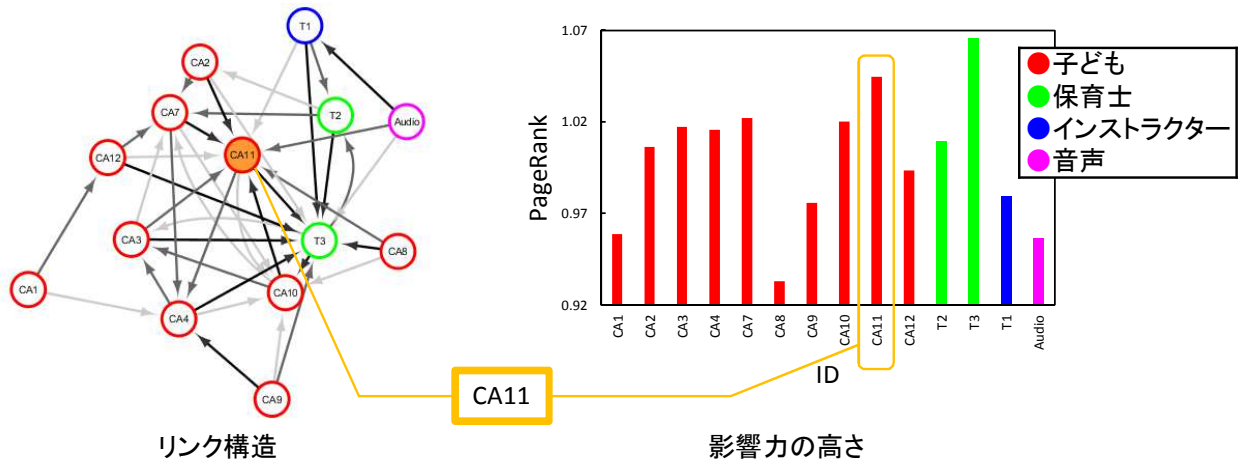


図 7: リトミックの場での PageRank

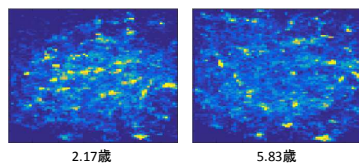


図 8: 空間の使い方

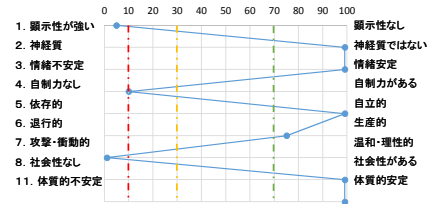
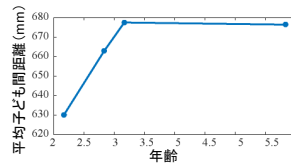


図 9: 性格診断検査の診断例

子どもがしゃがんだり寝転がっている間は位置データを取得できない。今後は Kinect の顔認識・距離画像による人位置推定などと合わせて、個人の位置データの取得を目指す。

## 6 まとめ

本稿では、子どもの社会性の発達に関する知見を計測による量的調査によって得る事を目的として、リトミックという場におけるデータの定量的計測環境の構築、計測、および解析を行った。結果として、動きの模倣の関係やリトミックの場における影響力の高さ、空間の使われ方を客観的に捉える手がかりが得られる可能性を示した。今後の展望として、解析手法のさらなる検討、アノテーションのラベル毎の解析、TS 式幼児・児童性格診断検査と計測データの分析を行い、子どもの社会性の発達とリトミックの関連性の客観評価、子どもの発達段階のモデル化、リトミック指導者向けのアプリケーションの検討を目指す。

## 謝辞

本研究は、文部科学省科学研究補助金（認知的インタラクションデザイン学）の助成を受けたものである。調査にあたり多大なご協力を頂いた玉川さくら保育園の関係者の皆様に感謝する。

## 参考文献

- 鈴木裕子: 模倣されたことから広がる子ども間の身体による相互行為—3 歳児と 4 歳児の発達の特徵を焦点として—, 子ども社会研究, Vol 19, pp. 105–118 (2013)
- 遠藤晶: 幼児の手あそびにおけるパフォーマンスの年齢による変化, 発達心理学研究, Vol. 9, No. 1, pp. 25–34 (1998)
- 河田諭志, 本村陽一, 西田佳史, 石川詔三, 田中和之: 室内における幼児の行動予測のための確率的因果構造モデルの学習と推論, 電子情報通信学会技術研究報告 ニューロコンピューティング (NC), Vol. 107(542), pp. 279–282. (2008)
- 鈴木裕子: 幼児の身体的コミュニケーションにおける模倣の機能, 教育実践学集, Vol. 10, pp. 57–67 (2009)
- エミール・ジャック=ダルクローズ: 『リズム・音楽・教育』 pp. 48 (2009)
- Sergey, B., Lawrence, P., Rajeev, M., Terry, W.: The PageRank citation ranking: Bringing order to the Web, Technical Report 1999-0120, Compute Science Department, Stanford University (1999)
- Amy, N. L., Carl, D. M.(2006) 『Google PageRank の数理—最強検索エンジンのランキング手法を求めて』 (岩野和生, 黒川利明, 黒川洋訳) 共立出版
- Brugman, H., Albert R.: Annotating Multi-media / Multi-modal resources with ELAN, *Proceedings of LREC 2004, Fourth International Conference on Language Resources and Evaluation* (2004)
- 中込真衣子, 山上精次: 対人距離の発達の研究—幼児の性・年齢および着座してからの時間経過が及ぼす影響, 日本心理学会第 74 回大会, 2EV107 (2010)